

Диссипация энергии ферромагнитной наночастицы в вязкой жидкости под действием переменного внешнего поля

Заика А.В., студент; Лютый Т.В., докторант
Сумский государственный университет, г. Сумы

Одним из самых примечательных применений ферромагнитных жидкостей [1] является метод магнитной гипертермии в терапии раковых заболеваний [2]. В данном методе нагревание ткани происходит за счет поглощения энергии переменного поля магнитными наночастицами. Непосредственное превращение в тепловую энергию для достаточно крупных наночастиц (> 20 нм) реализуется посредством трения вращающейся в вязкой среде частицы. При этом тепловыми флуктуациями можно пренебречь для практически интересных временных масштабов.

В данной работе рассмотрено сферическое регулярное движение ферромагнитной наночастицы под действием внешнего поля вида

$$\mathbf{H} = h(\mathbf{e}_x \cos \Omega t + \mathbf{e}_y \sigma \sin \Omega t) + \mathbf{e}_x H_x + \mathbf{e}_z H_z, \quad (1)$$

где h и Ω – амплитуда и частота поля, соответственно, $\mathbf{e}_{x,y,z}$ – орты декартовой системы координат, $\sigma = 1$ для циркулярно-поляризованного поля и $\sigma = 0$ для линейно-поляризованного поля, $H_{x,z}$ – статические поля вдоль соответствующих осей. Исходное положение магнитного момента относительно системы координат задается углами θ_0 и φ_0 .

Скорость нагревания среды определяется поглощаемой мощностью q на единицу объема наночастицы, которая зависит от траектории частицы. Были найдены аналитические выражения для величины q в случае малых частот для циркулярно-поляризованного поля, а также в случае больших частот для циркулярно- и линейно-поляризованного полей. Численно получены данные для произвольных амплитуд и частот переменного поля. Проанализировано влияние параметров $H_{x,z}$ и θ_0 на поглощаемую мощность; указаны условия, при которых статические поля могут увеличивать или уменьшать q .

1. M.I. Shliomis, *Sov. Phys. Usp.* **17**, 153 (1974).
2. Q.A. Pankhurst, J. Connolly, S.K. Jones, J. Dobson, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, R167 (2003).